

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平6-331507

(43)公開日 平成6年(1994)12月2日

(51)Int.Cl. ⁵	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 1 M 19/00		Z		
G 0 1 D 21/00		Q 7907-2F		
G 0 5 B 23/02	3 0 1	V 7618-3H		
G 2 1 C 17/00				
		8908-2G	G 2 1 C 17/ 00	
			審査請求 未請求 請求項の数28 O L (全 21 頁)	

(21)出願番号 特願平5-119887

(22)出願日 平成5年(1993)5月21日

(71)出願人 000005108

株式会社日立製作所

東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地

(72)発明者 内田 俊介

茨城県日立市大みか町七丁目2番1号 株式会社日立製作所エネルギー研究所内

(72)発明者 藤森 治男

茨城県日立市大みか町七丁目2番1号 株式会社日立製作所エネルギー研究所内

(72)発明者 高橋 文信

茨城県日立市大みか町七丁目2番1号 株式会社日立製作所エネルギー研究所内

(74)代理人 弁理士 春日 謙

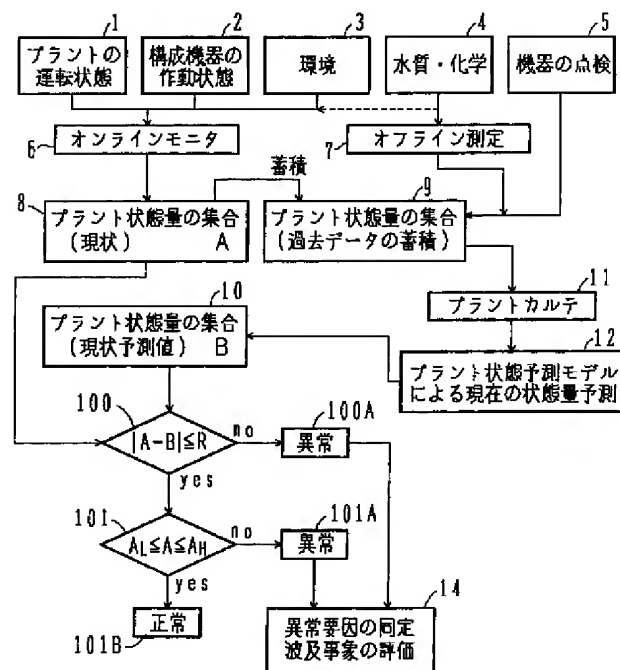
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 プラントの監視診断方法及び監視診断システム並びにこれを備えたプラント

(57)【要約】

【目的】 プラントの製造、点検・補修及び運転等の履歴を考慮して、異常を的確に分析診断し、高信頼性、定期点検の簡略化が可能なプラントの監視診断方法及びシステムを実現する。

【構成】 運転状態1、作動状態2、環境3がモニタ6を通して蓄積され複合されプラント状態量の集合8として集約され、水質・化学情報4がプラント状態量の集合9として蓄積される。状態量集合8は更新され過去データは状態量集合9として蓄積される。定期点検時のデータ5、水質・化学情報4も集合9として蓄積される。集合9はプラントカルテ11として縮約保存される。状態量予測12はプラント個性を配慮した予測を行う。集合8と10とのデータとが比較手段13で比較されほぼ一致すればプラントは正常であり一致しなければ異常と診断される。異常と診断された場合には異常の機器の同定、要因の同定が行われる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 プラントの監視診断方法において、プラントの運転状態、機器の作動状態、環境状態を検出して、検出データを蓄積し、プラントの検査データを蓄積し、上記蓄積された検出データ及び検査データからなるプラントの履歴情報に基づいて、プラントの状態を診断することを特徴とするプラントの監視診断方法。

【請求項2】 請求項1記載のプラントの監視診断方法において、上記プラントの履歴情報は、上記検出データ及び検査データが圧縮され蓄積されたプラントカルテとして、記憶され、このプラントカルテのデータに基づいて、プラントの状態を診断することを特徴とするプラントの監視診断方法。

【請求項3】 請求項2記載のプラントの監視診断方法において、上記プラントカルテのデータと、プラント状態の予測モデルとに従って、プラントの現在の状態が予測され、この予測された状態と、現在の検出データとの比較に基づいて、プラントの状態の異常を監視診断することを特徴とするプラントの監視診断方法。

【請求項4】 請求項1又は2記載のプラントの監視診断方法において、プラントの状態を診断した結果、異常が検出されたときには、異常箇所及び異常内容を同定すると共に、異常の波及事象を予測することを特徴とするプラントの監視診断方法。

【請求項5】 請求項4記載のプラントの監視診断方法において、上記同定された異常箇所、異常内容及び異常の波及事象を表示手段により表示することを特徴とするプラントの監視診断方法。

【請求項6】 請求項4記載のプラントの監視診断方法において、検出された異常に対する対処方法を選定し、上記同定された異常箇所、異常内容、異常の波及事象及び対処方法を表示手段により表示することを特徴とするプラントの監視診断方法。

【請求項7】 請求項2記載のプラントの監視診断方法において、上記プラントカルテのデータと、このデータから算出した材料劣化因子データとに基づいて、プラントの構成機器及び部材の余寿命を評価することを特徴とするプラントの監視診断方法。

【請求項8】 請求項7記載のプラントの監視診断方法において、上記プラントカルテのデータと、検査データと、材料劣化因子データとに基づいて、微小亀裂の進展挙動が顕在化するまでの亀裂潜伏時間と、亀裂顕在化後の進展深さと、材料強度の劣化による使用限界亀裂深さと、に分類して亀裂進展の影響を評価し、構成機器及び部材の余寿命を評価することを特徴とするプラントの監視診断方法。

【請求項9】 請求項2記載のプラントの監視診断方法において、上記検出データ及び検査データは、複数のデータであり、これら複数のデータに対して、所定の重み付けを行い、プラントの状態を診断し、診断した結

果に基づいて、上記所定の重み付けを変更し、変更した検出データ及び検査データを圧縮し、上記プラントカルテのデータとして、記憶させることを特徴とするプラントの監視診断方法。

【請求項10】 請求項1から9のうちのいずれか一項記載のプラントの監視診断方法において、上記プラントの運転状態は、熱出力、電気出力、流量を含むプロセス量であり、上記機器の作動状態は、回転数、電気出力、振動、温度を含み、上記環境状態は、プラント内における圧力、温度、雰囲気成分を含むことを特徴とするプラントの監視診断方法。

【請求項11】 請求項1から9のうちのいずれか一項記載のプラントの監視診断方法において、上記検査データは、プラントの構成機器及び部材の材質、特性及び製造条件を示す仕様データと、補修及び交換を示す保全工法の種類及び施工条件データと、点検時における検査結果を示すデータとであることを特徴とするプラントの監視診断方法。

【請求項12】 請求項1、2、又は9記載のプラントの監視診断方法において、上記監視診断は、プラントの異常診断又はプラントの余寿命評価であり、監視診断結果に基づいて、プラント保全計画の作成及び修正を行うことを特徴とするプラントの監視診断方法。

【請求項13】 請求項12記載のプラントの監視診断方法において、上記異常診断結果のデータ又は余寿命評価結果のデータは、プラントの運転制御部に供給されることを特徴とするプラントの監視診断方法。

【請求項14】 請求項1から13のうちのいずれか一項記載のプラントの監視診断方法において、上記プラントは、原子力発電プラント、火力発電プラント、又は化学プラントであることを特徴とするプラントの監視診断方法。

【請求項15】 プラントの監視診断システムにおいて、プラントの運転状態、機器の作動状態、環境状態の検出データを入力する第1の入力部と、プラントの検査データを入力する第2の入力部と、上記第1の入力部からの検出データに従ってプラントの監視診断に用いるデータを作成する第1の入力データ処理部と、上記第2の入力部からの検査データに従ってプラントの監視診断に用いるデータを作成する第2の入力データ処理部と、上記第1及び第2の入力データ処理部により作成されたデータを保存するプラントカルテと、上記プラントカルテに保存されたデータに基づいて、プラントの状態を監視診断する監視診断部と、を備えることを特徴とするプラントの監視診断システム。

【請求項16】 請求項15記載のプラントの監視診断

システムにおいて、
上記監視診断部は、プラントカルテからのデータと、上記第1の入力データ処理部からのデータとに基づいて、プラントの異常を診断する異常診断部を有することを特徴とするプラントの監視診断システム。

【請求項17】 請求項16記載のプラントの監視診断システムにおいて、
上記異常診断部は、プラントの運転状態及びプラントの構成機器の作動状態の異常を診断することを特徴とするプラントの監視診断システム。

【請求項18】 請求項16又は17記載のプラントの監視診断システムにおいて、
上記異常診断部は、プラントの異常箇所及び異常内容を同定すると共に、異常の波及事象を予測することを特徴とするプラントの監視診断システム。

【請求項19】 請求項18記載のプラントの監視診断システムにおいて、
上記異常診断部により同定及び予測された、異常箇所、異常内容及び異常の波及事象を表示する表示部を、さらに備えることを特徴とするプラントの監視診断システム。

【請求項20】 請求項19記載のプラントの監視診断システムにおいて、
上記異常診断部は、異常箇所及び異常内容に対する対処方法を選定し、上記表示部は、選定された対処方法を表示することを特徴とするプラントの監視診断システム。

【請求項21】 請求項15記載のプラントの監視診断システムにおいて、
上記検出データ及び検査データは、複数のデータであり、上記監視診断部は、これら複数のデータに対して、所定の重み付けを行い、プラントの監視診断を実行し、診断した結果に基づいて、上記所定の重み付けを変更し、変更した検出データ及び検査データを上記プラントカルテのデータとして、記憶させることを特徴とするプラントの監視診断システム。

【請求項22】 請求項15又は16記載のプラントの監視診断システムにおいて、上記監視診断部は、
上記プラントカルテからのデータに基づいて、材料劣化因子データを算出する劣化因子評価部と、
上記劣化因子評価部からのデータに基づいて、プラントの余寿命評価を行う余寿命評価部と、
をさらに有することを特徴とするプラントの監視診断システム。

【請求項23】 請求項22記載のプラントの監視診断システムにおいて、上記監視診断部は、上記プラントカルテのデータと、検査データと、材料劣化因子データとに基づいて、微小亀裂の進展挙動が顕在化するまでの亀裂潜伏時間と、亀裂顕在化後の進展深さと、材料強度の劣化による使用限界亀裂深さと、に分類して亀裂進展の影響を評価し、構成機器及び部材の余寿命を評価するこ

とを特徴とするプラントの監視診断システム。

【請求項24】 請求項15から23のうちのいずれか一項記載のプラントの監視診断システムにおいて、上記プラントの運転状態は、熱出力、電気出力、流量を含むプロセス量であり、上記機器の作動状態は、回転数、電気出力、振動、温度を含み、上記環境状態は、プラント内における圧力、温度、雰囲気成分を含むことを特徴とするプラントの監視診断システム。

【請求項25】 請求項15から23のうちのいずれか一項記載のプラントの監視診断システムにおいて、上記検査データは、プラントの構成機器及び部材の材質、特性及び製造条件を示す仕様データと、補修及び交換を示す保全工法の種類及び施工条件データと、点検時における検査結果を示すデータとであることを特徴とするプラントの監視診断システム。

【請求項26】 請求項15、21又は22のうちのいずれか一項記載のプラントの監視診断システムにおいて、上記監視診断は、プラントの異常診断又はプラントの余寿命評価であり、監視診断結果に基づいて、プラント保全計画の作成及び修正を行うことを特徴とするプラントの監視診断システム。

【請求項27】 請求項15から26のうちのいずれか一項記載のプラントの監視診断システムにおいて、上記プラントは、原子力発電プラント、火力発電プラント、又は化学プラントであることを特徴とするプラントの監視診断システム。

【請求項28】 プラント本体と、このプラント本体の状態を監視診断する監視診断システムと、この監視診断システムからの情報を参照して、上記プラント本体の運転を制御する運転制御システムと、を備えるプラントであって、上記監視診断システムは、請求項15から26のうちのいずれか一項記載の監視診断システムであることを特徴とするプラント。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、原子力発電プラント、火力発電プラント等のプラントの状態及び運転を監視し、診断する監視診断方法及び監視診断システムに関する。

【0002】

【従来の技術】例えば、沸騰水型原子炉、加圧水型原子炉などの原子力発電プラント、石油・石炭・天然ガスなどを燃焼する火力プラント、エチレンなど石油化学製品の製造、精製ほかの化学プラントなどエネルギーや反応生成物の取り出しを目的とするプラント（以下これらを単にプラントと称する）がある。これらのプラントでは、プラント内の制御対象が低温から高温まで幅広い温度領域にあり、プラント内の各部位において、制御対象が液相から気相、場合によっては固相にまで変わる。

【0003】プラントの起動、定常運転、そして停止

の、各状態毎に、プラント内の各部位における制御対象の温度、相が様々に変化する。一般に、プラントの運転は、計算機により制御され、プラントの運転効率が最適となるため、あるいは起動、停止が円滑に行なわれるために、プラントにおける圧力、温度等の諸量が時々刻々測定され、計算機で上記諸量が最適となるように運転される。

【0004】図16は、沸騰水型原子炉を用いた原子力発電プラントの主要機器・設備の概略構成図である。図16において、圧力容器17内には、燃料集合体やジェットポンプ22等の炉内機器が配置され、制御棒駆動装置、再循環ポンプモータ29等原子炉の制御、冷却のための主要機器、設備と共に、格納容器16内に収容されている。通常運転時には、制御棒が炉心23から下部へ引き抜かれることによって、燃料であるウランの核分裂が臨界に達して発熱する。再循環ループ26上の再循環ポンプモータ29によりジェットポンプ22が駆動され、冷却水が循環されることによって、炉心から核分裂による熱が除去される。そして、280℃、6.9MPaの高圧水蒸気が生成され、この蒸気が主蒸気管24を介して、タービンに供給され、タービンが駆動されて発電される。蒸気は復水器で凝縮され、水として原子炉給水ライン25を介して原子炉に戻される。運転中、格納容器16内には、窒素ガスが封入され、不燃化されている。

【0005】原子炉系で、万一、異常が発生した場合には、原子炉が停止され、格納容器16の内外に設置された主蒸気隔離弁で、原子炉系が格納容器16内に隔離される。また、炉の過圧は、逃し安全弁18により緩和されると共に、非常用炉心冷却系等の安全設備が作動される。21は、シュラウドであり、このシュラウド21により炉心23が包囲される。また、20は気水分離器、37はドライウェル、19は蒸気乾燥器であり、気水分離器20により凝結水が除去され、ドライウェル37により、冷却材喪失事故の際、気水混合物が放出される。28は、原子炉冷却材浄化ポンプであり、このポンプ28からの冷却材は、ろ過脱塩装置27を介して原子炉給水ライン25に供給される。15は冷却水を散布する原子炉格納容器スプレー、30も同様なスプレーである。31は、隔離時冷却タービンポンプであり、このポンプ31により、原子炉がタービン系から隔離された場合、原子炉が冷却される。

【0006】また、32は残留熱除去熱交換器、36は残留熱除去ポンプであり、これら熱交換器32及びポンプ36により、原子炉停止後の崩壊熱が除去される。33は高圧炉心スプレーポンプであり、34は低圧炉心スプレーポンプ、35は圧力抑制室である。

【0007】上述した原子力発電プラントにおいては、原子力発電プラントの信頼性確保のために、定期的に原子力発電プラントの運転が停止され、主要設備・機器が

分解・解体され、異常の有無、劣化度が点検される。また、非破壊的に異常の有無が点検され、異常があれば機器、部品が補修・交換されることにより、原子力発電プラント運転の信頼性が確保されている。運転中の原子力発電プラントにあっては、原子炉を中心に、原子炉の出力、温度、圧力、循環水の流量などの運転状態が常時モニタされる。そして、原子力発電プラントの運転状態が、正常であることが確認される。また、ポンプ、その他の主要構成機器については、回転数、吐出圧、温度、流量などがモニタされ、作動状態が確認されると共に、機器の振動、温度、機器周辺の漏洩蒸気・水、放射線その他がモニタされ、機器を取り巻く環境が正常であることが確認され、原子力発電プラントの運転の異常の有無の確認が常時行なわれている。

【0008】そして、定期的な設備・機器の点検においては、法定点検項目が遵守され、高度化技術を有する特殊作業員により高度な点検作業が迅速に実行される。主要機器・設備の診断方法の概要を表す表を図17に、機器・設備診断のための主要センサを表す表を図18に示す（参考文献：「原子力発電所の設備診断システム」、内田他3名、センサ技術1992年10月号、84～89頁）。

【0009】また、プラントや機器の監視診断に関する従来例としては、機器を対象としたもの（特開昭58-134312号公報、特開平3-220498号公報）や、プラントを対象としたもの（特開昭58-215593号公報、特開昭63-313208号公報、特開昭63-241876号公報）等がある。上記例においては、監視対象となる機器又はプラントの動作の予測モデルが利用され、実際の観測結果との差異から異常が検出される構成となっている。

【0010】

【発明が解決しようとする課題】ところで、近年、原子力発電プラント等のプラントの信頼性の向上、定期点検の簡略化による稼働率の向上が望まれている。今後、原子力発電プラント等のプラントの経年化が進むと、機器・材料の経年劣化による不具合発生により、プラントの信頼性が低下することが懸念される。また、プラントの定期点検に必要な特殊作業員の不足が予想されるため、プラントの運転中に効率よく、しかも、高信頼度で、機器及び材料等に存在する異常発生の可能性を予知する必要がある。あるいは、機器等の異常を極軽微な段階で検知することが必要となる。

【0011】したがって、機器、材料の経年劣化によるプラントの信頼性低下を抑制し、定期点検による稼働率低下を抑制すると共に、プラントの経時的特性を的確に把握する、プラント設備の正確な自動監視及び診断が要求される。例えば、原子力プラントのように高度に複雑な設備の監視診断の信頼性を向上するためには、製造履歴、点検・補修履歴及び運転履歴を含むプラントの個性

を考慮して、異常を的確に分析診断する機能が不可欠となる。また、多種多量の監視データを迅速かつ確実に分析して、異常を検出するためのデータ加工機能と、診断結果と対応すべき処置を確実に運転員に伝達する機能も必要である。そして、上記分析診断機能及び伝達機能が相互的に結合された総合監視診断システムが望まれる。

【0012】しかしながら、上述した従来の技術にあっては、プラントの製造履歴、点検・補修履歴及び運転履歴等を含むプラントの個性を考慮して、異常を的確に分析診断する監視診断方法は、実現されていなかった。

【0013】したがって、本発明の目的は、プラントの製造履歴、点検・補修履歴及び運転履歴等を考慮して、異常を的確に分析診断し、高信頼性を有し、定期点検の簡略化が可能でプラントが高稼働率となる、プラントの監視診断方法及び装置を実現することである。

【0014】

【課題を解決するための手段】本発明は、上記目的を達成するため、次のように構成される。プラントの監視診断方法において、プラントの運転状態、機器の作動状態、環境状態を検出して、検出データを蓄積し、プラントの検査データを蓄積し、蓄積された検出データ及び検査データからなるプラントの履歴情報に基づいて、プラントの状態を診断する。好ましくは、上記プラントの監視診断方法において、プラントの履歴情報は、検出データ及び検査データが圧縮され蓄積されたプラントカルテとして、記憶され、このプラントカルテのデータに基づいて、プラントの状態を診断する。

【0015】また、好ましくは、上記プラントの監視診断方法において、プラントカルテのデータと、プラント状態の予測モデルとに従って、プラントの現在の状態が予測され、この予測された状態と、現在の検出データとの比較に基づいて、プラントの状態の異常を監視診断する。また、好ましくは、上記プラントの監視診断方法において、プラントの状態を診断した結果、異常が検出されたときには、異常箇所及び異常内容を同定すると共に、異常の波及事象を予測する。

【0016】また、好ましくは、上記プラントの監視診断方法において、同定された異常箇所、異常内容及び異常の波及事象を表示手段により表示する。また、好ましくは、上記プラントの監視診断方法において、検出された異常に対する対処方法を選定し、同定された異常箇所、異常内容、異常の波及事象及び対処方法を表示手段により表示する。また、好ましくは、上記プラントの監視診断方法において、プラントカルテのデータと、このデータから算出した材料劣化因子データとに基づいて、プラントの構成機器及び部材の余寿命を評価する。

【0017】また、プラントの監視診断システムにおいて、プラントの運転状態、機器の作動状態、環境状態の検出データを入力する第1の入力部と、プラントの検査データを入力する第2の入力部と、第1の入力部からの

検出データに従ってプラントの監視診断に用いるデータを作成する第1の入力データ処理部と、第2の入力部からの検査データに従ってプラントの監視診断に用いるデータを作成する第2の入力データ処理部と、第1及び第2の入力データ処理部により作成されたデータを保存するプラントカルテと、プラントカルテに保存されたデータに基づいて、プラントの状態を監視診断する監視診断部と、を備える。

【0018】好ましくは、上記プラントの監視診断装置において、監視診断部は、プラントカルテからのデータと、第1の入力データ処理部からのデータとに基づいて、プラントの異常を診断する異常診断部を有する。また、好ましくは、上記プラントの監視診断装置において、異常診断部は、プラントの運転状態及びプラントの構成機器の作動状態の異常を診断する。また、好ましくは、上記プラントの監視診断装置において、異常診断部は、プラントの異常箇所及び異常内容を同定すると共に、異常の波及事象を予測する。

【0019】また、好ましくは、上記プラントの監視診断装置において、異常診断部により同定及び予測された、異常箇所、異常内容及び異常の波及事象を表示する表示部を、さらに備える。また、好ましくは、上記プラントの監視診断装置において、異常診断部は、異常箇所及び異常内容に対する対処方法を選定し、表示部は、選定された対処方法を表示する。

【0020】

【作用】プラントの監視診断方法にあっては、プラントの運転状態、機器の作動状態、環境状態が検出され、検出データが蓄積される。また、プラントの検査データも蓄積される。蓄積された検出データ及び検査データは、プラントの履歴情報として保存される。そして、プラントの履歴情報に基づいて、現在のプラントの状態が、監視診断される。これによって、現在の状態が健全であっても、例えば、履歴情報から、過去に異常徴候等が検出されている場合には、これが考慮されて、監視診断が行われる。また、異常が検出されたときには、異常箇所及び異常内容が同定され、異常の波及事象が予測される。

【0021】プラントの監視診断システムにあっては、第1の入力部からプラントの運転状態、機器の作動状態、環境状態が入力される。また、第2の入力部からプラントの検査データが入力される。そして、上記第1及び第2の入力部からのデータに従って、監視診断に用いるデータが第1及び第2のデータ処理部によって、作成される。この第1及び第2のデータ処理部からのデータが、プラントカルテに保存される。そして、このプラントカルテに保存されたデータに基づいて、プラントの状態が、監視診断部により診断される。

【0022】

【実施例】図1は、本発明の一実施例であるプラントの監視診断方法の動作説明ブロック図である。図1におい

て、例えば、原子力発電プラントでは、原子力発電プラントの運転状態1、構成機器の作動状態2、環境3などの情報が、検出手段により検出され、オンラインモニター6を通して、適切な記憶手段に時々刻々蓄積される。これらのデータは、複合化され、プラント状態量の集合8として集約される。冷却水の水質、すなわち、溶存酸素濃度、pH、導電率、金属イオン、各種アニオン、懸濁物質などの化学成分、放射能などの水質・化学情報4が、検出手段により検出され、一部はオンラインモニター6を通して、大部分はオフラインモニター7による化学分析、放射線分析によって、測定される。

【0023】上記プラント状態量の集合8は、時々刻々新しいデータに切り替えられ、更新される。そして、これらプラント状態量の集合8の過去のデータは、過去のプラント状態量の集合9として、記憶手段に蓄積される。また、原子力発電プラントの定期点検時に、分解点検した結果のデータ5及びオフラインモニター7により測定された水質・化学情報4もプラント状態量の集合9として、蓄積される。

【0024】そして、プラント状態量の集合9は、プラントのカルテ11として、縮約（圧縮）されて保存される。原子力発電プラントでは、プラントの各種状態を予測するためのモデルがあり、これらのモデルが駆使されて、過去のプラントデータに基づき、プラントの現状が予測される。通常のモデルの使い方は、プラント設計データを用いてが予測されるが、図1の例における状態量予測12では、プラントカルテ11が活用され、プラントの個性を配慮した予測が行われる。

【0025】こうして、プラント状態量の集合（現状）8のデータAと、プラント状態量の集合10（現状予測値）のデータBとが、比較手段13により比較される。そして、データAとBとが、一定の誤差の範囲で一致すれば、プラントは正常13Aであり、個々の構成機器に異常は無いと診断される。データAとBとが、一定の誤差の範囲以上、一致しなければ、プラントには異常が顕在化し、構成機器のいずれかに異常が存在するものと診断される（13B）。

【0026】異常有りと診断された場合には、上記データAとBとの詳細な照合、プラントカルテの分析、予測モデルを駆使した評価により、異常の機器の同定、要因の同定が行われる。また、モデルを用いて、異常が拡大した場合の波及効果を予測し、プラントの停止、機器の点検・補修・交換などの対応が行われるまでの余裕期間を明確にして、計画的な対応を可能とする（14）。

【0027】具体的には、プラント本来のエネルギー発生に係わる特性のほか、更に、ポンプの回転数と吐出圧力及び流量との関係、制御棒位置と出力との関係、ポンプの振動及び回転数のユラギと温度ユラギ及び出力ユラギとの相関を評価して、個々の機器特性の変化か、プラント特性の変化かを評価、診断する。こういった機器、部

位の作動状態の妥当性をチェックして、機器個々の特性劣化、異常の診断を行ない、異常徴候の検知を行なう。さらに、機器運転状態の情報を迅速に取得して、複合化し、異常を早期に診断すると共に、信頼の高いデータベースを確保して、プラント状態のカルテを自動作成する。このようなプラントデータの収集、評価は、計算機制御の対象のみでなく、プラント機器の運転状態の情報と機器毎の仕様、検査データの情報を中央制御室等へ集約すると共に、プラントの運転履歴、運転モードと重ね合わせて、情報の合成を図る。

【0028】次に、本発明を原子炉システムに適応させた場合の例を説明する。図2は、原子炉システムにおける主要な計測要素を示す図である。図2において、原子炉システムは、原子炉压力容器A1内の燃料要素から構成される炉心A2と、炉心の反応度を調整して出力を制御するための制御棒A3及び制御棒駆動系A4とを備えている。また、原子炉システムは、炉心冷却し、炉心より熱エネルギーを蒸気として取り出すために、冷却水を炉心に循環させる再循環ポンプA5とジェットポンプA6及び再循環系A7と、炉心で発生した蒸気の熱エネルギーを電気エネルギーに変換するためのタービンA8及び発電機A9とを備える。

【0029】さらに、原子炉システムは、蒸気をタービンA8に導くための主蒸気系A10と、タービンA8からの排蒸気を凝縮するための復水器A11と、復水器A11で再び水の状態に戻った冷却水を原子炉へ再注入するための給水系A12とを備える。なお、A14はドラムであり、A15はセパレータである。

【0030】原子炉の状態を示す最も重要なパラメータは、原子炉の出力である。原子炉の出力は、通常、電気出力と熱出力で表される。原子炉から得られる直接的な出力は熱であるが、発電という観点では、原子炉の出力は、電気エネルギーとするのが一般的である。通常のBW R発電所では、復水器の海水温度等により若干の変動はあるが、熱効率は約33.3%で、電気出力と熱出力との間には、明確な相関関係があり、一般には、電気出力に変動が生じた場合には、熱出力に変動があった結果と考えて差し支えない。

【0031】原子炉の熱出力のグロス測定は、主蒸気の温度、圧力と流量から求まる。温度、圧力よりエンタルピが算出され、これに流量を乗ずることにより、トータルエンタルピが算出される。原子炉の出力は、元々原子炉での核分裂によるため、核分裂率からも熱出力は算出できる。すなわち、原子炉の核物理計算により原子炉運転に伴う炉内の中性子束分布、核分裂率分布の変動は時々刻々算出される。原子炉内あるいはその周辺に配された中性子束モニターA13によって、常時モニタされている中性子束の測定値を用いて、上記変動値を校正することにより、炉心内での核分裂率、さらには熱出力が高精度で算出される。こうして、中性子測定の結果、原子炉

10

20

30

40

50

の熱出力が算出される。

【0032】中性子測定による熱出力（以下、核的熱出力という）は、上記主蒸気のエンタルピより算出された熱出力（以下マクロ熱出力という）と合致しなければならない。合致しない場合は、核熱出力あるいはマクロ熱出力のいずれかが測定器の異常等による誤りが発生していることになり、その原因を究明し、原因を排除する必要がある。この際、核熱出力とマクロ熱出力の妥当性をチェックするための第3のパラメータが、上述した電気出力である。3者（核熱出力、マクロ熱出力、電気出力）のうちの2者が合致した場合、残りの1者に異常が発生している。

【0033】原子炉の場合、炉心の反応度は、運転時間と共に変化する。運転時間が経過すると、炉心の燃料要素中のU-235が核分裂する。その結果、燃料要素が消耗し、核分裂の結果生成する核分裂生成物が中性子を吸収して、反応度は低下する。一方、炉心に挿入されている制御棒の引き抜きだけでなく、循環流量の増大によっても反応度は低下する。流量を増加させると、出力当たりの流量が低下し、炉心での平均冷却材温度が低下し、その結果、炉心のボイド率が低下する。BWRでは、負のボイド率を持っており、ボイド率の低下により、炉の出力は増大する。ボイド率の低下は給水系の流量増加によっても引き起こされる。

【0034】このように、炉の熱出力は、燃料の燃焼、制御棒の引き抜き、挿入、循環流量の増減、給水流量の増減により変化し、その変化程度は、プラントの設計、個性によって異なる。また、実際には、設計が同じでも、プラントの製作誤差の結果、プラント毎に個性差を生じる。このように、プラントの個性を十分に配慮すれば、流量が同じであれば、制御棒の挿入位置から、また、制御棒の挿入位置が同じであれば、循環流量の変化から炉の熱出力は推定可能である。こうして推定された炉の熱出力もまた、上記マクロ熱出力、核熱出力、電気出力と比較され、プラント全体のバランスより、炉の正常な運転状況がチェックできる。

【0035】こういったプラントバランスを評価するうえで欠かせないのが、個々の要素機器の特性変化である。図3に再循環ポンプの診断フローとカルテの一例を示す。つまり、測定項目としては、金属量イオン溶出量測定、バルブ回転数測定、ポンプ電流及び電圧測定、回転数測定、オリフィス差圧測定、加速度測定がある。そして、上記測定項目から得られる情報としては、金属イオン溶出量測定からは、バルブシートの摩耗情報が得られ、バルブ回転数測定からは、バルブ開度情報が得られる。また、ポンプ電流及び電圧測定からは、電力負荷が得られ、回転数測定及びオリフィス差圧測定からは、流量情報が得られる。さらに、加速度測定からは、振動情報が得られる。そして、バルブシート摩耗情報、バルブ開度情報、電力負荷情報、流量情報、振動情報から関連

評価データが作成される。この関連評価データがポンプカルテとして、蓄積される。

【0036】再循環ポンプA5は、その回転数を変えることにより流量が可変となる。回転数より流量を算出すると共に、流量計により直接流量を測定して、再循環系全体の圧力損失変動による回転数と流量との相関を時々刻々再校正する。この回転数と流量とのデータは、各々個別に自動測定され、プラントデータとして、主としてチャート紙上に保存される。こういった流量データのよう

10

20

30

40

50

な生データの保管は重要なことではあるが、個別データとして保存しては、記憶ボリュームが膨大になり、後日問題が発生して、チェックが必要になった場合にも、即座に対応付けて取り出すことが困難となる。

【0037】このため、回転数と、流量のデータは、採取直後に図4に示すように、両者の相関の経時変化データとして縮約し、これを再循環ポンプA5のカルテとして保存することによって、ポンプ特性の把握とポンプの異常診断が可能となる。つまり、図4において、縦軸は流量Y(t)、横軸は回転数X(t)であり、これら回転数と流量との相関の経時変化データとして、保存される。両者の相関解析において、両者が、そのプラント固有の相関から10%以上のずれが生じた場合には、何らかの異常が存在するものと判断する。こうした異常診断は、ポンプ特性の将来予測に使用することができ、特性許容範囲の逸脱時期を予測して、その時期までに、ポンプの補修、交換を計画することができる。

【0038】再循環ポンプのカルテには、回転数、流量の相関の他、消費電力、振動、騒音、バルブ関連データも付記して、僅かな変動についても、複数のパラメータで評価可能である。すなわち、振動は、回転数、流量のトランジェントに顕在化するものと、ある一定の回転数、流量以上で顕在化するもの、回転数、流量には関係なく、ある時期から顕在化するもの等、様々である。このため、回転数、流量との関連がないものについては、振動系自体の信頼性をチェックすることも必要である。一定値以上の回転数で振動が発生する場合には、回転数と振動数、振幅の相関を解析し、これらに有為な相関が示された場合には、ポンプには回転に関する異常があるものの診断を下す。

【0039】さらに、規模の大きなプラントとしてのカルテの例を図5と図6に示す。先に示した炉の熱出力に関して、(1)電気出力（発電機電圧、電流）から推算した熱出力、(2)主蒸気特性（温度、圧力、流量）から推算した熱出力、(3)中性子束測定値（核分裂率）から推算した熱出力、(4)制御棒挿入位置、再循環流量、給水特性（給水温度、流量）から推算した熱出力、これら熱出力（比較量）(1)～(4)の相関を、時々刻々まとめ、これを経過時間の関数、及び上記(1)～(4)のいずれかの熱出力の関数として縮約する。理論的には、上記(1)～(4)の4者が合致する

13

はずであるが、例え、各々のデータに本質的なエラーがなくとも、(1)～(4)は完全には合致しないのが通常である。これらの縮約データは、まず、個々の熱出力の妥当性を、その熱出力を導出する元となったデータのチェックにより明確にした後、評価済みデータとして、図6の(A)に示すように、時間関数として保管する。つまり、縦軸に比較量(熱出力)、横軸に時間として、上記熱出力(1)～(4)のデータを保管する。

【0040】時間の経過に従って上記熱出力4者のズレに変化がないか、同じ熱出力において、4者のズレに変化がないかを詳細に評価することにより、個々の熱出力のみからでは、判断できない僅かな機器の特性劣化が摘出可能となる(図5の(B))。

【0041】上記(1)～(3)の熱出力に比べて、(4)の熱出力の値が大きくなった場合には、(a)実際の制御棒の位置が指示値より引き抜き側にずれているか、(b)制御棒ポイズンに劣化が発生しているか、(c)ジェットポンプの効率が低下しているか、(d)燃料表面に鉄クラッドが異常に付着して燃料反応度が低下しているか、等の可能性が指摘できる。再循環ポンプ特性は、上記チェックで確認でき、給水温度、流量もクロスチェック、すなわち、種々の角度からの詳細な検討により確認可能である。

【0042】上記(a)の制御棒位置の指示不良及び(b)のポイズン劣化は、当該制御棒を挿入し、別の複数の制御棒を引き抜くことにより確認することができる。また、上記(c)のジェットポンプ効率の低下は、オンラインでのチェックが難しいが、効率低下の要因の一つにあげられているノズル部への鉄クラッドの沈着によるノズル内面平滑度の低下については、給水、再循環水中の鉄クラッド濃度の経時変化データより解析的に推定が可能である。ノズルのクリアランス不良、ルースパーツによる閉塞等の確認は解体検査による。

【0043】さらに、上記(d)の燃料のコンタミネーションも同様に、炉水の鉄クラッド濃度の解析により評価できる。上述した(1)～(4)の複数のデータの集合を出力データパターンと称し、このパターンの経時変化の解析は、個々のオリジナルデータに遡っての解析評価に比べ、迅速診断が期待でき、しかも保管するデータのボリュームも低減できる。異常を判定するための判断基準としては、炉の熱出力測定精度、原子炉反応度計算精度、中性子束測定の精度等から総合的に判断して、プラント固有の相関から10%のずれを生じた時点、あるいは生ずる可能性のある時点とすることが妥当である。

【0044】カルテと上記プラント状態データとを比較すると共に、エキスパートシステムを用いた自動診断を重畳させることにより、時々刻々変化するプラント自体の特性の変化とも柔軟に対応して、迅速かつ信頼性の高い異常徴候の検知と要因の同定が可能となる。一般に、プラントの経年化と共に、機器・材料の信頼性は低下す

14

る傾向がある。プラントの特性を示すカルテの情報量とその信頼性は、プラントの運転経過時間と共に増大し、高まるため、診断精度は運転時間の経過と共に向上し、運転経過時間と共に低下する機器、部材の信頼性と相補効果がある。

【0045】なお、プラント運転員へ異常の有無、要因を判り易く示すと共に、異常が拡大した場合の波及事象を定量的に予測して、これをCRTの画面上に表示するなどして、運転員に対して、ことの重要性を迅速かつ的確に提示することが可能である。そして、迅速かつ信頼性の高い異常徴候の検知と要因の同定が可能となるので、定期検査の対象となる機器・システムの数削減をことができると共に、劣化徴候より定期点検の新規対象となる機器・システムを自動的に摘出することができる。

【0046】なお、異常の波及事象の予測結果の表示においては、ディスプレイ上に予測事象に関連する物理量のグラフや事象そのものを視覚的に表現した動画として表示することができる。これにより、プラント運転員に視覚的に事態を一層迅速かつ的確に把握させることができ、プラント運転員の判断ミスによる不具合の拡大等のトラブルの発生を防止できる。さらに、選択可能な対応とその結果も同様に表示することにより、適切な対応を支援すると共に、引き続いての対応への余裕を作ることができる。対応策を選択する場合には、ディスプレイ上でプラントの種々の状況を確認しながら行うことができる。

【0047】また、ディスプレイを、複数のプラントの運転状況を監視する監視センター等、プラントの中央制御室以外の場所にも設置すると、多くの関係者や専門家の判断を交えながらの対応が可能となり、想定外の異常事象にも、事象を良く把握した上での的確な対応ができる。プラントカルテはプラントの個性に相当するプラント固有のデータであり、これを活用することにより、製造・運転・補修履歴の異なるプラントの個性に応じた的確な異常診断が可能となるが、他プラントのトラブル事例も参考データとしてカルテデータとして蓄えておくと、異常の原因推定及び対応選定の助けになり、異常診断システムの信頼性を一層向上できる。

【0048】図7及び図8は、本発明の他の実施例である監視診断装置のブロック図である。図7において、プラント60からの監視データをプラントカルテ11を含む監視診断システム61に取り込み、プラントカルテ11に基づいた診断結果を運転制御システム62へ伝え、プラント60を運転制御する。これらプラント60、監視診断システム61及び運転制御システム62は、広義のプラントを構成し、同一敷地内に設置してある。

【0049】図8は、監視診断システム61のブロック図である。図8において、プラント60からのプラント状態の監視データは、各種センサ、モニタ等を利用した

15

監視システム64に取り込まれ、必要に応じて相関解析等のデータ処理が施される。こうして、診断に適切な形に加工された監視データは、異常診断システム45、状態予測システム65及びプラントカルテ11に取り込まれる。

【0050】プラントカルテ11には、監視システム64を通してプラント運転状態、機器動作状況等の履歴情報が供給され、さらに、検査結果や施工条件が検査システム66を通して供給される。そして、プラントカルテ11には、プラント固有の特性、すなわち個性が多種類のデータの形で蓄積される。異常診断システム45には、監視データとして直接得られる現在のプラント又は機器の運転状態データと、監視データに基づき、予測モデルを内蔵した状態予測システム65で予測した本来あるべき状態データと、プラントカルテ11に書き込まれたプラントの個性データと、が供給される。そして、異常診断システム45は、運転状態データ、本来あるべき状態データ、個性データからプラントの状態を診断する。

【0051】また、プラントカルテ11のデータと、これを使って劣化因子評価システム67で定量化した材料劣化因子とが、余寿命評価システム47に取り込まれ、材料強度の劣化と亀裂進展挙動を解析するモデルを用いて機器・部材の余寿命が算出される。異常診断システム45及び余寿命評価システム47の診断及び評価結果は、プラントカルテ11に供給され、共にプラントカルテ11の更新データとなる。さらに、異常診断システム45及び余寿命評価システム47からのデータが運転制御情報となる。また、余寿命評価システム47からのデータは、保全計画情報となる。

【0052】異常診断システム45においては、各機器等の監視対象の重要度に応じて、重み付けを行い、診断を実行するように構成することもできる。この場合、異常診断結果に応じて、重み付けを変更し、変更したデータを更新データとして、プラントカルテ11に供給するように構成することも可能である。

【0053】図9及び図10は、監視診断システムの他の構成例である。図9において、異常監視診断システム68は、監視システム64と、検査システム66と、状態予測システム65と、プラントカルテ11と、異常診断システム45と、から構成される。また、図10において、寿命監視診断システム69は、監視システム64と、検査システム66と、劣化因子評価システム67と、プラントカルテ11と、余寿命評価システム47と、から構成される。

【0054】この図9及び図10に示した異常監視診断システム68又は寿命監視診断システム69を監視診断システムの一つとして用いると、機能を制限したことに対応して、システムを小型化できる利点がある。一方、異常監視診断システム68と寿命監視診断システム69

16

とを結合した図8の構成では、両システムの結合により、診断結果の信頼性を支えるプラントカルテをより充実させることができる利点がある。

【0055】また、図11に示すように、図7に示した構成に運用システム63をつけ加えることもできる。この運用システム63は、監視診断システム61からの余寿命評価結果を取り込み、プラント保全計画及びそれに基づくプラント運転計画を立案し、運転制御システム62に供給する。運用システム63は、図12に示すように、監視診断システム61から余寿命評価結果及び他プラントからの保全計画や保全作業に必要な人員・資材の確保状況に関するデータが供給され、これらに基づいて、保全計画システム70が保全計画を立案する。さらに、運転計画システム71は、保全計画と他のプラントの運転計画及びプラント生産物の需要予測に関するデータを用いて運転計画を立案し、運転制御システム62へフィードバックする。

【0056】図11において、運用システム63は、比較的長期に渡る対応を決定するためのものであり、これと監視診断システム61の一部である余寿命評価システム47は、上述した広義のプラントに含まれる（すなわち、プラント60と同一敷地内に設置する）必要はなく、別な場所に運用管理や保全計画を担当する施設として設置しても良い。

【0057】図8の例の構成を、図13を用いて、さらに具体的に説明する。なお、図13において、図1と図8に示した例と同一の機器、部材等には、同一の符号が付してある。図13において、プラント建設時を始め、定期検査等の検査時や補修・交換時に、設置した機器・部材の材質・性能仕様データ37や施工条件データ38等のデータが、プラントカルテ11の作成・保守を行うカルテ用データ処理装置44の端末41から入力される。検査時に入力するデータは、例えば、材料の成分元素等の数値化できるものは数値で、材料名のように定量化できない属性等はコード化しておく。施工条件等38の作業内容データも設定されたコードにならって入力される。

【0058】データ入力はキーボード入力以外にも、カード等の記録媒体から光学式あるいは磁気式等のコード読み取り器40を利用して入力してもよい。機器・部材の表面等の一部分にコードを刻印や印刷等の手段で記録して機器・部材自体を記録媒体として上記のようなコード読み取り器で入力するようにすると、記録媒体の万一の紛失や取り違いによるトラブルもなくなり、入力自体も迅速かつ確実に実施できる。また、原子力発電プラントの場合には、炉内ヘカード等の記録媒体を持ち込むことにより発生する可能性のある問題（炉内への置き忘れ、汚染物の増大等）を回避できるほか、作業時間短縮により放射線被曝量を低減できる利点がある。以上の手順で、プラントカルテ11のうち、機器・部材の仕様デ

ータ等の部分が自動的に更新される。

【0059】一方、プラント運転状態データ1、機器の動作状態データ2及び水質データ4を含むプラント内環境データ3の現在のモニタリング値及び過去のモニタリング値のトレンドも、オンラインモニタ6、オフラインモニタ7及びプロセス計算機39を通して、監視用データ処理装置43で処理され、プラントカルテ11に自動的に取り込まれる。プラントカルテ11に取り込まれるのは、必ずしもモニタリング信号そのものではなく、複数の信号の回帰分析、相関分析、周波数分析等のデータ

処理で監視情報として高感度化された信号を取り込むことでデータ圧縮を兼ねて監視の高感度化を図ることができる。

【0060】このようにして、随時更新されるプラントカルテ11のデータと、モニタリングシステムから得られる過去及び現在のプラント運転状態のデータとから、劣化因子評価システム46のなかで、材料劣化の主要因子(材質・応力・環境)を定量する。原子力発電プラントの場合、材質に関しては、機器・部材の設置前(検査前)の材質及び組成のカルテデータと溶接等施工条件のカルテデータとから予め用意してある評価モデルに従い設置(検査)時点での材質が評価される。さらに、中性子束分布の時間変化等のプラント運転状態のカルテデータを利用して、現在まで並びに将来の照射脆化、照射偏析等の材質変化を、これも予め用意してある評価モデルを使って評価する。将来の材質変化については、例えば、次回・次々回定期検査時点等を評価する。

【0061】同様に、応力に関しては、材料の加工のカルテデータ及び施工条件のカルテデータとから設置(検査)時点の残留応力を評価し、次いでプラント運転状態のカルテデータを利用して照射誘起応力緩和・発生、流体振動及びプラント起動・停止時の熱応力等を評価する。また、環境に関しては、主として現在のプラント運転状態の監視データからこれも予め用意してある評価モデルを使ってラジカル濃度、腐食電位等を評価する。このようにして定量化された材料劣化因子を入力パラメータとする余寿命評価システム47において、亀裂の発生・合体・進展挙動471及び強度劣化挙動472が、余寿命評価部473にて解析されることにより、機器・部材の余寿命が予測される。

【0062】余寿命評価部473の予測結果に基づき、対策選定部474が保全計画を立案する。そして、各種カルテデータや各種評価モデル、解析モデルの誤差を見込んで安全率を考慮した余寿命が、機器・部材の設計寿命を超えていれば、保全計画の修正は不要である。しかし、余寿命が設計寿命より短い場合には、補修・交換等による材質改善/応力緩和や環境緩和等の保全工法の中から安全性、経済性を勘案して余寿命評価システムが最適な工法を選択する。この場合、一種の保全工法で設計寿命まで延長することは必ずしも必要なく、例えば、先

ず水素注入により炉内腐食環境を緩和しておいて、次いで、次回定期検査時に補修・交換を実施すると、プラントの計画外停止を避けることができ、電力を安定供給できる。

【0063】補修・交換に使用する機器・部材に関しては、予めカード等の記録媒体にカルテ情報をコード化して記録して予防保全用に在庫しておけば、上記のような万一の不具合発生時に迅速かつ適切な工法選定のためのデータベースの一種として活用できる。余寿命評価の頻度は1回/月程度で十分である。機器・部材の余寿命評価データ自体もプラントカルテ11に供給され、プラントカルテデータとして蓄えておくと、前実施例で示したプラント状態量からの異常監視に有効である。すなわち、他の監視情報から推測した異常予兆の補足情報として利用できるほか、余寿命評価結果自体のトレンドの変化もプラント異常監視情報として利用可能であり、異常監視システム45の診断結果の信頼性を向上できる。同様に、診断結果もまたプラントカルテ11に取り込み、余寿命評価システムによる評価結果の信頼性を向上できる。なお、異常診断監視システム45は、異常検出部451、原因同定部452、波及事象予測部453、対応ガイダンス部454からなる。

【0064】以上述べたように、図13の実施例では、検査・補修・交換時にもプラント固有のカルテデータを随時更新し、これに基づいて材料劣化因子を定量するため、機器・部材の余寿命評価精度が向上し、材料劣化による機器・部材の余寿命変化を早期に検出して余裕を持った対策を立案できる。このため、プラントを長期に渡り安全かつ経済的に運転できる。特に、保全工法が大規模になる原子力発電プラントにおいては、計画外停止を避けて定期検査のなかで対応する保全計画立案も可能となるので、余裕を持って補修・交換に用いる部品・機材の準備や作業員の確保が可能となり、検査作業を軽減できる。また、余寿命を精度良く予測することになるので、機器・部材の設計寿命より予測寿命が十分長い場合には、当初の補修・交換計画を変更して、そのまま使用期間を延長することも可能である。

【0065】したがって、不要・不急の予防保全作業を実施することがなくなり、プラントの定期検査の期間短縮及び費用低減の効果が有り、定期検査の頻度低減や実施間隔の拡大を図ることもできる。配管等の部材のみならず、一般に補修・交換で寿命及び信頼性が向上するが、機器の場合は補修・交換や分解点検等により、その時点からのいわゆる初期故障に類する不具合発生が却って増える可能性がある。また、機器特性が変化するため、これまで機器固有の特性としてプラントカルテに蓄積してきたデータを一新することになり、機器診断精度が低下する。したがって、この観点からも、不要・不急と診断した予防保全作業の実施は避けた方がよい。さらに、この場合、他の重要な保全に費用・人員を振り分けること

により、予防保全の信頼性の一層の向上につなげることができる。

【0066】余寿命評価システムでの余寿命評価結果の表示手法としては種々の方法があるが、その一つとして、CRT等のディスプレイの画面上に表示すると、プラント運転員等の画面を注目している者に、プラントの将来の不具合発生の有無のみでなく、対応の緊急性及び対策の効果を視覚的に理解させることができる。つまり、図14に示すように、プラントの全体又は一部をディスプレイ画面48上に表示し、余寿命を評価したい部位を選択すると、対象部位の余寿命評価結果を表示する。表示の仕方の種類としては、亀裂進展挙動のグラフのほか、対象部位又はそれを含む周辺の余寿命分布を擬似カラー表示することにより、余寿命及び対策の必要箇所を視覚的に瞬時に認識できる。さらに、適用可能性のある保全対策の種類と時期を表示し、操作者の選択により対策後の余寿命評価結果も同様に擬似カラー表示することにより、対策の効果を確認できる。

【0067】図14の例では、プラントデータ51及び材料データ52からなるプラントカルテ11のデータを用いてサポートプログラム群49で劣化因子を定量化し、劣化因子データ50を作成する。ここで、プラントデータ51は、プラントパラメータ（出力、流速、放射線量等）、運転履歴、補修履歴、定期検査履歴、材料仕様、構造等のデータである。また、材料データ52は、補修部・溶接部特性、改良材特性等のデータである。サポートプログラム群49は、残留応力、流動振動、粒界偏析、照射脆化、照射材He挙動、粒界水素、並びに炉内及び炉内水質の各因子について評価する。以上の劣化因子データ50とプラントカルテ11のデータとを合わせてデータベース53を構成する。余寿命評価システム47は、入出力ルーチン54、余寿命評価ルーチン55及び対策評価ルーチン56からなる。

【0068】入出力ルーチン54では、上記の評価対象部位の選択及び評価結果の表示を受け持つ。余寿命評価ルーチン55は、さらに内部構造として、亀裂潜伏時間評価ルーチン57、亀裂進展深さ評価ルーチン58及び使用限界亀裂深さ評価ルーチン59からなり、亀裂潜伏時間評価ルーチン57では、被膜の破壊・修復の繰返しを経て、微小亀裂が合体し、進展挙動が顕在化するまでの時間を評価し、亀裂進展深さ評価ルーチン58では、活性溶解、水素脆化、疲労等に基づいて、顕在化後の亀裂の進展速度から亀裂深さを評価する。一方、使用限界亀裂深さ評価ルーチン59では、破壊靱性等から、使用期間中の材質劣化評価結果に基づき、破壊に至る限界の亀裂深さを評価する。さらに、これらの評価結果を基に、対策評価ルーチン56により、保全の必要性の有無、適切な保全工法60の候補（水素注入、表面改質、補修溶接）と施工の時期、並びにその効果を評価し、その結果を、ディスプレイ画面48上に表示する。例え

ば、画面48aに示すように、時点 t_1 までが、亀裂潜伏時間であり、亀裂進展深さ58が限界亀裂深さ59と交差する時点 t_2 が寿命である。そして、時点 t_3 が保全対策60が施工された後の寿命である。

【0069】上述のように、評価結果を表示することにより、視覚的に保全の必要性、緊急性、及び有効性を理解でき、適切な判断を支援できる利点の他、プラントの個性に応じて材料劣化因子を定量化しているため余寿命評価の信頼性が向上する。

【0070】材料余寿命評価の具体例を使って説明する。余寿命評価では、亀裂の発生挙動（亀裂潜伏時間評価）及び進展挙動（亀裂深さ評価）の二つに分けて評価する。このうち、亀裂の潜伏時間は、一般に、亀裂進展から破壊に至るまでの時間より長いので、材料余寿命評価において最も重要である。亀裂潜伏時間については、山内らが応力腐食割れ（SCC）の発生ポテンシャル評価手法として提案した考え方（第38回腐食防食討論会、1991年10月）を利用できる。すなわち、種々の劣化因子毎に加速条件下での実験で求めた亀裂潜伏時間 τ_i と、基準条件下での亀裂潜伏期間 τ_s と、劣化因子の材料劣化の加速因子 F_i との間の関係、 $\tau_i = \tau_s \times F_i$ （ただし、 $n=1, 2, 3, \dots, n$ ）を用いる。複数の劣化因子が存在する場合には、亀裂潜伏時間 τ は数1のように示することができる。また、材料劣化加速因子 F は、数2に示すように、加速因子 F_i の積で表現できる。

【0071】

【数1】

$$\tau = \tau_s \times F \quad \dots (1)$$

【0072】

【数2】

$$F = \prod_{i=1}^n (F_i) \quad \dots (2)$$

【0073】亀裂潜伏期間の基準は、例えば、亀裂深さ μm となるまでの時間と規定する。材料劣化加速因子を、 $F=1$ のときに亀裂潜伏時間 τ が1年になるように規格化しておけば、材料劣化加速因子 F そのものを亀裂潜伏時間とみなせる。これら材料劣化加速因子は、一定の条件下に材料が置かれた場合を想定しており、実際のプラントにおいては、プラント運転条件の変化を以下のように取り込んでいく。

【0074】当初計画の原子力発電プラント運転条件は、通常水質であり、この環境下では評価対象機器の $F=10$ で、深さ50 μm の亀裂発生まで10年の寿命であったとする。7年後に、水素注入する運転条件に変更し、この環境下では、 $F=50$ であるとする。この場合、7年経過時点で、旧環境下での $F=10$ のうち7/10を消費したことに相当し、新環境下での残りの $F=50 \times (3/10) = 15$ となり、あと15年で深さ5

21

0 μ mの亀裂発生と予測することになる。このように、プラントカルテのデータを利用してプラント運転条件の変化を積分の形で随時織り込むことにより、プラントの構成機器の亀裂潜伏時間を予測できる。

【0075】プラントの安全確保の観点からは、亀裂潜伏時間の予測だけで余寿命評価することが望ましく、特に、原子力発電プラントでは亀裂の存在が認められていない。しかし、上記のような材料劣化加速因子を利用した評価では、加速実験データを利用することに起因する予測誤差が避けられず、予測期間が長いほど、この誤差の絶対値が大きくなる。一方、誤差を考慮した安全係数を大きくとり過ぎると、上述のように、不要・不急の保全を回避するという目的は、十分達成できない。さらに、プラント稼動開始時点では、本発明の監視診断システムがなく、プラント稼動後に監視診断システムを導入した場合では、既に亀裂進展が顕在化している事例がありえる。

【0076】したがって、以上の観点から、微少亀裂の顕在化までに全ての亀裂発生を予測することは、実質的に困難と考えられ、よって、余寿命評価においては、亀裂進展挙動についての評価も重要となる。この場合、検査・点検において、亀裂深さの検出限界以上の亀裂を検出することになる。亀裂深さの検出限界は約1mm程度である。亀裂が検出された場合の余寿命評価上のポイントは、亀裂の進展速度である。今後、亀裂進展速度がどうなるかを、プラントカルテのデータを用いて評価する。

【0077】応力腐食割れ（SCC）の場合には、亀裂先端での活性溶剤割れ等の数種のモデルが提案されており、亀裂先端での歪速度等、これらの具体的評価に必要なデータをプラントカルテから取り出すことになる。上記のように、監視診断システム導入前のプラントカルテデータが存在しない場合には、将来予測と同様に、現在までの履歴を推定して、進展速度を評価する。以上の説明では、原子力発電プラントにおけるSCCを例として示したが、他のプラントや疲労亀裂等の他の劣化機構でも類似の手法で取り扱うことができる。

【0078】なお、上記の例では、原子力発電プラントの炉内機器の亀裂の進展挙動について、発生と進展の二つに分離して評価する例を示しているが、余寿命の評価精度や関連する材料の劣化機構に応じて微小亀裂の発生や合体等、発生と進展の各々をさらに細分したり、お互いに関連させたりして評価すれば良い。この点は、同じく図14に示した材料劣化因子に関しても同様であり、必要に応じて材料劣化因子を取捨・選択及び追加を行う。

【0079】評価対象部位及び対策の選択においては、ディスプレイを介しての対話形式で進めると、全ての手順で視覚的に確認しながら評価することができる。評価部位をディスプレイ画面上のプラント構造図からペン、

22

マウス等で選択すると、機器・部材名、材質名等の確認すべき項目が表示される。そして、その内容を確認すると、図15に示すように、48A→48B→48Cというように、さらに選択部近傍の拡大図が表示され、再び機器・部材名、材質名等の確認するステップを繰り返す、目的の機器・部材を選択する。評価対象部位を拡大していくことにより、対象機器・部材のどの部分の劣化が問題であり、どの対策でどのように改善されるのかが明確になる。もちろん、プラント全体の表示を眺めれば、プラント全体の健全性を把握できる。

【0080】この余寿命評価システムの設置場所は、プラントの中央制御室に限定されない。

【0081】一般に、材料劣化は機器の異常と異なり急速に進展する可能性が少ないので、プラントの定期検査が確実になされていれば、次回あるいは次々回の定期検査までの保全計画立案のような、比較的長期的な対応を決めるのに使用できれば良い場合がある。その場合は、プラント運転員が対応すべき情報ではないので、例えば、プラントの予防保全センターのような施設に設置し、保全の必要な機器・部材の補修・交換機材の確保及び施工に必要な装置の確保、並びに作業員の確保等を含む保全計画を、他プラントの保全計画との調整を取りながら決定するようにすると、人員も含めて資源を最大限有効に活用しながらの長期的なプラント保全が可能になる。

【0082】なお、上述した例は、本発明を原子力発電プラントに適用した例であるが、本発明は、原子力発電プラントに限らず、各種火力発電プラント、エチレン生成などの化学プラントの設備についても、適用可能である。

【0083】

【発明の効果】本発明は、以上説明したように構成されているため、次のような効果がある。プラントの監視診断方法において、プラントの運転状態、機器の作動状態、環境状態を検出して、検出データを蓄積し、プラントの検査データを蓄積し、蓄積された検出データ及び検査データからなるプラントの履歴情報に基づいて、プラントの状態を診断する。したがって、プラントの製造履歴、点検・補修履歴及び運転履歴等を考慮して、異常を的確に分析診断し、高信頼性を有し、定期点検の簡略化が可能でプラントが高稼働率となる、プラントの監視診断方法を実現することができる。

【0084】また、プラントの監視診断システムにおいて、プラントの運転状態、機器の作動状態、環境状態の検出データを入力する第1の入力部と、プラントの検査データを入力する第2の入力部と、第1の入力部からの検出データに従ってプラントの監視診断に用いるデータを作成する第1の入力データ処理部と、第2の入力部からの検査データに従ってプラントの監視診断に用いるデータを作成する第2の入力データ処理部と、第1及び第

10

20

30

40

50

2 3

2の入力データ処理部により作成されたデータを保存するプラントカルテと、プラントカルテに保存されたデータに基づいて、プラントの状態を監視診断する監視診断部と、を備える。したがって、プラントの製造履歴、点検・補修履歴及び運転履歴等を考慮して、異常を的確に分析診断し、高信頼性を有し、定期点検の簡略化が可能でプラントが高稼働率となる、プラントの監視診断システムを実現することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施例であるプラントの監視診断方法の動作説明図である。

【図2】本発明が適用される原子炉システムの概略構成図である。

【図3】再循環ポンプの診断フローを示す図である。

【図4】再循環ポンプカルテデータの保存例を示す図である。

【図5】大規模プラントの熱出力診断フローを示す図である。

【図6】熱出力診断カルテデータの保存例を示す図である。

【図7】本発明の一実施例であるプラントの監視診断装置の全体概略構成図である。

【図8】図7の例における監視診断システムの構成図である。

【図9】監視制御システムの他の例の構成図である。

【図10】監視制御システムのさらに他の例の構成図である。

【図11】本発明の他の実施例であるプラントの監視診断装置の全体概略構成図である。

【図12】図11の例における運用システムの構成図である。

【図13】図8の例の詳細構成説明図である。

【図14】本発明のさらに他の実施例であるプラントの監視診断装置の概略構成図である。

2 4

【図15】図14の例における表示例を示す図である。

【図16】沸騰水型原子力発電所の概略構成図である。

【図17】原子炉主要機器及び設備の診断方法を示す表である。

【図18】原子炉機器及び設備の診断のための主要センサを示す表である。

【符号の説明】

1	プラントの運転状態データ
2	機器の作動状態データ
3	プラント内環境データ
5	機器の点検データ
8	プラント状態量の集合（現状）
9	プラント状態量の集合（過去データ の蓄積）
10	プラント状態量の集合（現状予測 値）
11	プラントカルテ
12	状態量予測データ
45	異常診断システム
46	劣化因子評価システム
47	余寿命評価システム
48	ディスプレイ
60	プラント
61	監視診断システム
62	運転制御システム
63	運用システム
64	監視システム
65	状態予測システム
66	検査システム
67	劣化因子評価システム
68	監視診断システム
69	監視診断システム
70	保全計画システム
71	運転計画システム

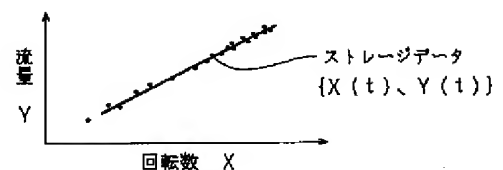
【図3】

再循環ポンプの診断フロー

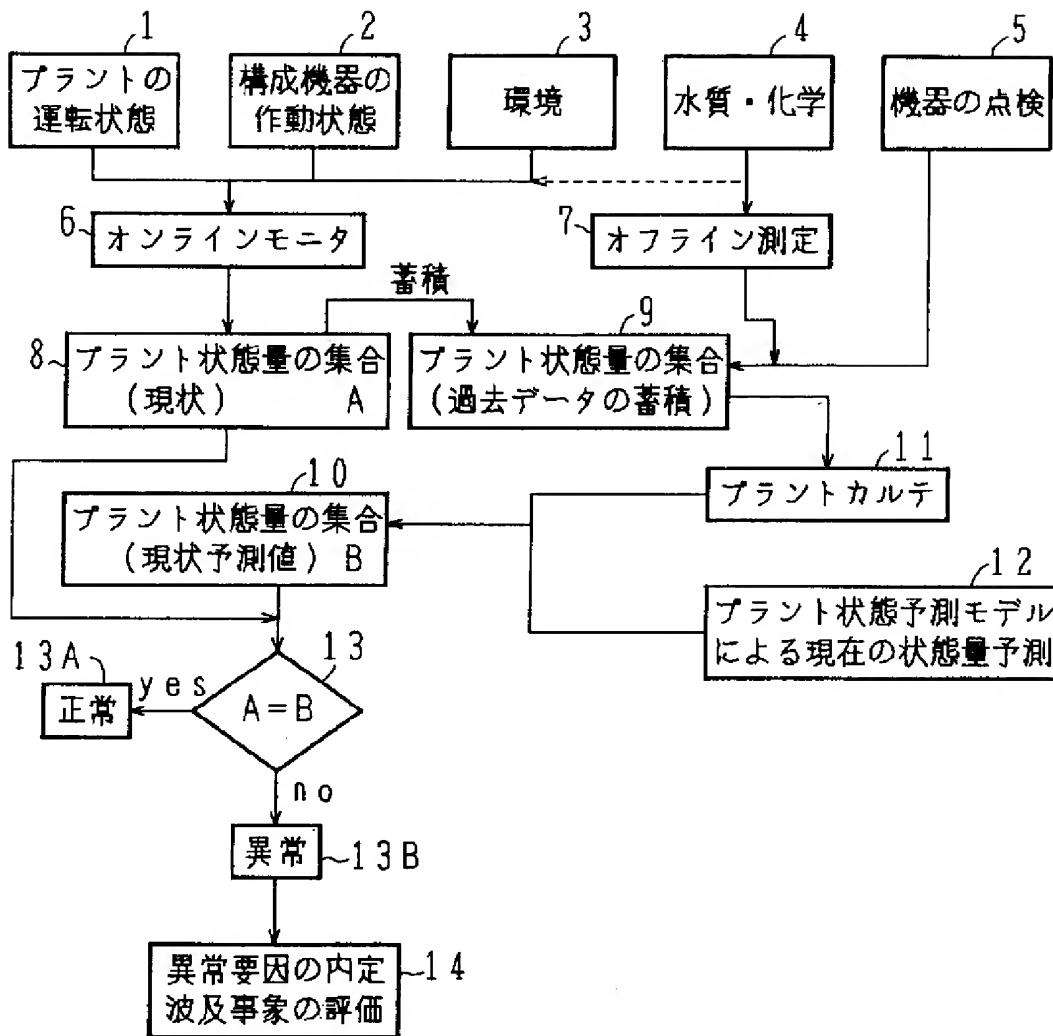
測定	情報		
金属イオン溶出量測定	→ パルプシート摩耗	→ 圧機チェック	
パルプ回転数	→ パルプ開度	→ 参考チェック	
ポンプ電流、電圧測定	→ 電力負荷	→ 関連評価データ	→ ポンプカルテ
回転数測定	→ 流量		
オリフィス差圧測定	→ 流量		
加速度測定	→ 振動		異常診断

【図4】

再循環ポンプカルテの例



【図1】



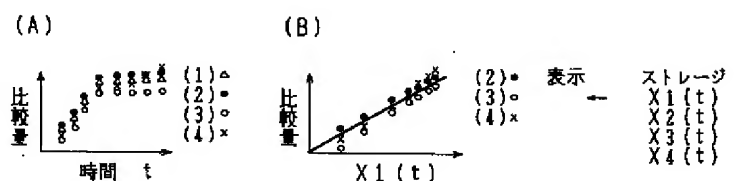
【図5】

プラント熱出力診断フロー

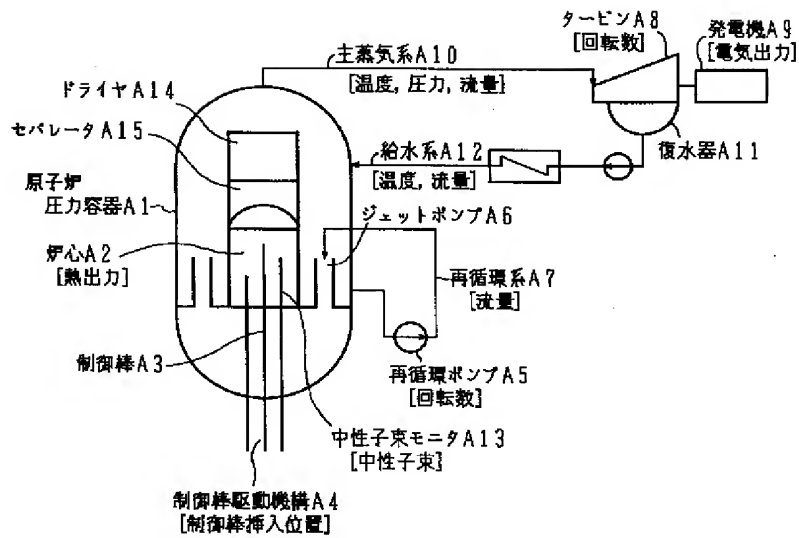
測定	情報	比較量
発電機電圧、電流	電気出力	(1) 熱出力
主蒸気温度、圧力、流量		(2) 熱出力
中性子束	核分裂率	(3) 熱出力
制御棒挿入位置		(4) 熱出力
再循環流量		
給水温度、流量		

【図6】

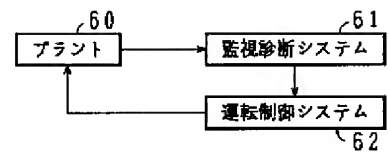
プラント熱出力診断カルテの例



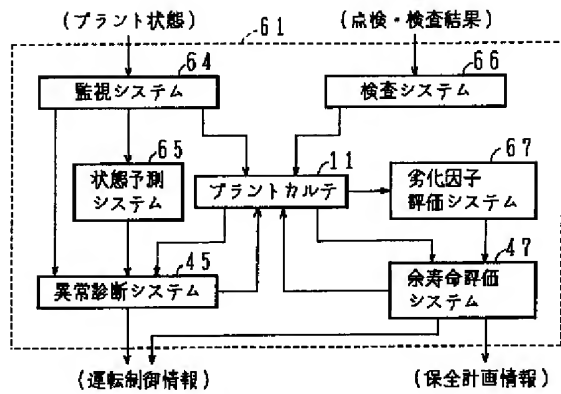
【図2】



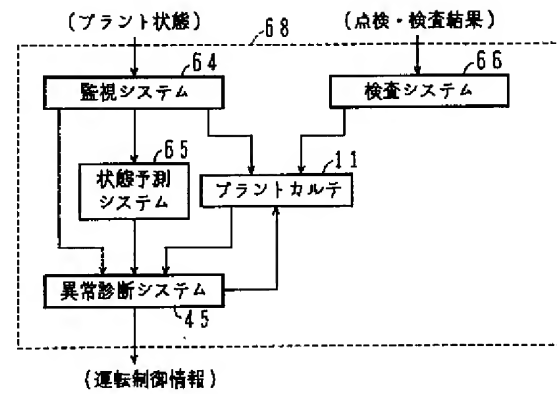
【図7】



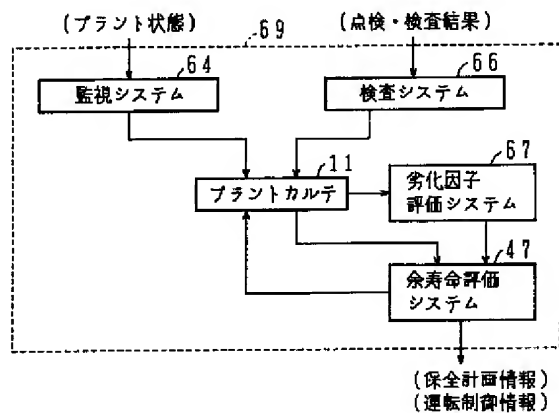
【図8】



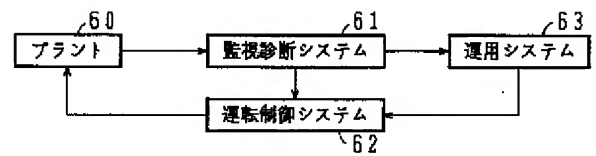
【図9】



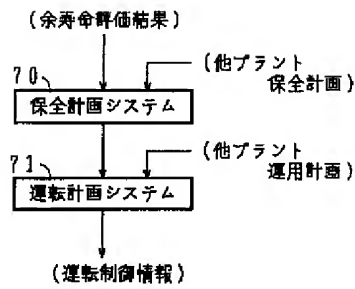
【図10】



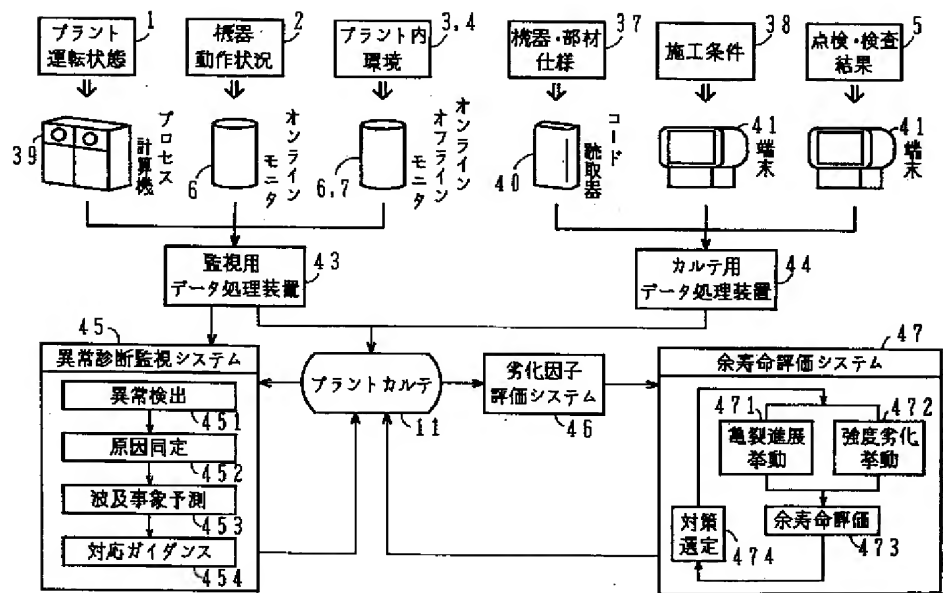
【図11】



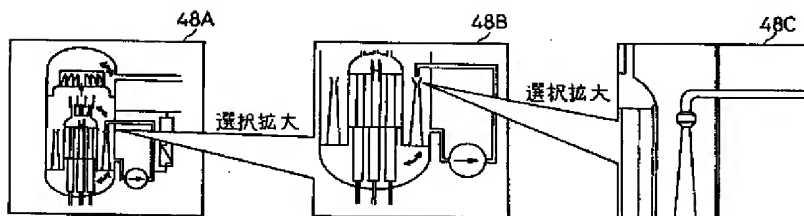
【図12】



【図13】



【図15】

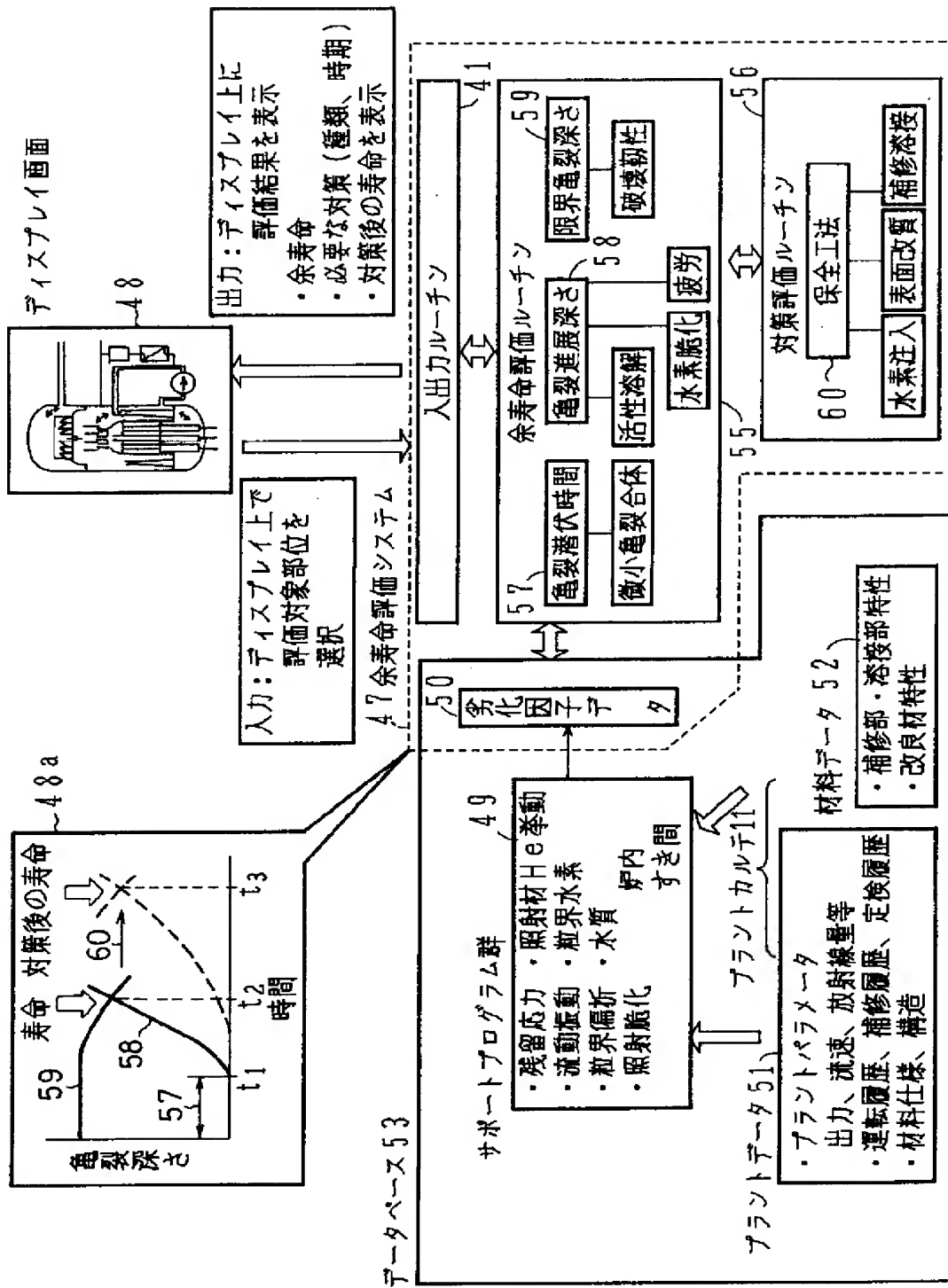


【図18】

機器・設備診断のための主要センサを示す表

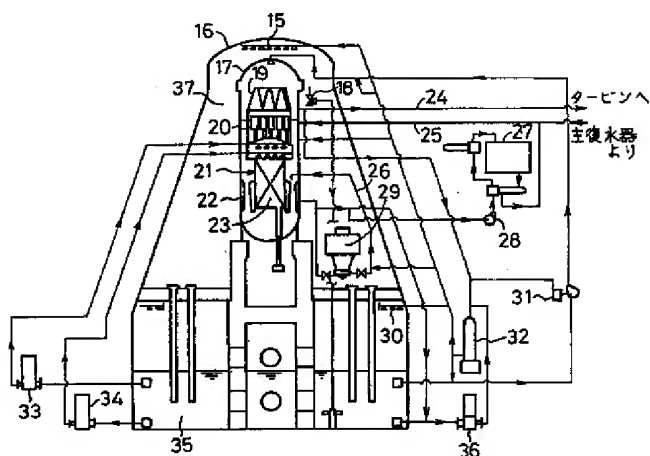
診断システム	診断手法	主要センサ
使用中検査 (ISI)	超音波による欠陥探傷	電子スキャン超音波センサ
蒸気漏洩検出	蒸気噴出音の測定	AEセンサ, 高感度マイクロホン
ルースパーツモニタ	接触音の測定	高感度マイクロホン
炉雑音解析	炉内中性子束のゆらぎから機器の振動を評価	中性子束モニタ
水質診断	複数の水質指数の変化から機器異常を検知	溶存酸素・水素計, 導電率計, pH計
材料劣化診断	微小な材質変化の測定	SQUID, アトムプローブ

【図14】



【図16】

BWR発電機における主要機器・設備



- | | |
|------------------|-------------------|
| 15 : 原子炉格納容器スプレー | 26 : 再循環ループ |
| 16 : 格納容器 | 27 : ろ過脱塩装置 |
| 17 : 圧力容器 | 28 : 原子炉冷却材浄化ポンプ |
| 18 : 逃し安全弁 | 29 : 再循環ポンプモータ |
| 19 : 蒸気乾燥器 | 30 : スプレー |
| 20 : 気水分離器 | 31 : 隔離時冷却タービンポンプ |
| 21 : シュラウド | 32 : 残留熱除去熱交換器 |
| 22 : ジェットポンプ | 33 : 高圧炉心スプレーポンプ |
| 23 : 炉心 | 34 : 低圧 |
| 24 : 主蒸気管 | 35 : 圧力制御室 |
| 25 : 原子炉給水ライン | 36 : 残留熱除去ポンプ |
| | 37 : ドライウェル |

【図17】

原子炉主要機器・設備の診断方法を示す表

診断対象機器・設備	主要機能	診断手法		
		作動性能	異常徴候	材料劣化
静的構造・機器	高温高圧冷却水の格納	■耐圧, 漏洩テスト	■非破壊検査	■サーベイランスワイヤ
	高温高圧冷却水の格納	■耐圧, 漏洩テスト	■非破壊検査	□SQUID
	気密性・耐圧性 循環流量確保 (ジェットポンプ) 放射性核分裂生成物の格納	●核熱バランス ●核熱バランス	●蒸気漏洩検出	□アトムプローブ
可動機器	冷却水浄化系設備	●差圧ブレーク	●炉雑音解析	■燃焼解析し、 定期的に交換
	再循環ポンプ	●圧力, 流量測定	●オフガスモニタ	
	主蒸気隔離弁 主蒸気逃し安全弁 制御棒駆動装置 工学的安全装置	●サーベイランステスト ●サーベイランステスト ■作動テスト ●サーベイランステスト	■シッピング ○水質診断	■燃焼解析し、 定期的に交換
電気計器機器	炉内中性子モニタ	●核熱バランス	●振動モニタ	
	プロセスモニタ	●サーベイランステスト ●サーベイランステスト ■定期的校正 ■定期的校正	●ルースパーツモニタ ●無人点検装置 ■分解点検 ■分解点検 ■分解点検 ■分解点検	■燃焼解析し、 定期的に交換
	原子炉保護系設備	●核熱バランス	●炉雑音解析	
放射線管理設備	放射能, 放射線の測定	●核熱バランス	●炉雑音解析	
	放射能, 放射線の測定	●核熱バランス ●サーベイランステスト ■定期的校正 ■定期的校正	●炉雑音解析	

診断期間 ●: 運転中 ○: 運転中
 ■: 定検時 (既実施) □: 定検時 (開発中)

【手続補正書】

【提出日】平成6年8月17日

【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0023

【補正方法】変更

【補正内容】

【0023】上記プラント状態量の集合8は、時々刻々新しいデータに切り替えられ、更新される。そして、これらプラント状態量の集合8の過去のデータは、過去のプラント状態量の集合9として、記憶手段に蓄積される。また、原子力発電プラントの定期点検時に、分解点検した結果の点検情報5及びオフラインモニタ7により測定された水質・化学情報4もプラント状態量の集合9として、蓄積される。

【手続補正2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0025

【補正方法】変更

【補正内容】

【0025】こうして、プラント状態量の集合（現状）8のデータAと、プラント状態量の集合10（現状予測値）のデータBとが、比較手段100により比較される。そして、データAとBとが一定の誤差Rの範囲内で一致する条件 $|A-B| \leq R$ を満たさなければ、プラントは異常100Aであると診断する。 $|A-B| \leq R$ の場合、更に比較手段101によりデータAが許容範囲内であるか（ $A_L \leq A \leq A_H$ ）否かを比較する。ここで、 A_L 及び A_H は許容範囲の下限及び上限である。データAが許容範囲内であればプラントは正常101Bであると診断し、データAが許容範囲外であればプラントは異常101Aであると診断する。

【手続補正3】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0026

【補正方法】変更

【補正内容】

【0026】異常有りと診断された場合には、上記データAとBとの詳細な照合、プラントカルテの分析、予測モデルを駆使した評価により、異常の機器の同定、要因の同定が行われる。また、モデルを用いて、異常が拡大した場合の波及事象を予測し、プラントの停止、機器の点検・補修・交換などの対応が行われるまでの余裕期間

を明確にして、計画的な対応を可能とする（14）。

【手続補正4】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0028

【補正方法】変更

【補正内容】

【0028】次に、本発明を原子炉システムに適応させた場合の例を説明する。図2は、原子炉システムにおける主要な計測要素を示す図である。図2において、原子炉システムは、原子炉压力容器A1内の燃料要素から構成される炉心A2と、炉心の反応度を調整して出力を制御するための制御棒A3及び制御棒駆動機構A4とを備えている。また、原子炉システムは、炉心冷却し、炉心より熱エネルギーを蒸気として取り出すために、冷却水を炉心に循環させる再循環ポンプA5とジェットポンプA6及び再循環系A7と、炉心で発生した蒸気の熱エネルギーを電気エネルギーに変換するためのタービンA8及び発電機A9とを備える。

【手続補正5】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0057

【補正方法】変更

【補正内容】

【0057】図8の例の構成を、図13を用いて、さらに具体的に説明する。なお、図13において、図1と図8に示した例と同一の機器、部材等には、同一の符号が付してある。図13において、プラント建設時を始め、定期検査等の検査時や補修・交換時に、設置した機器・部材の材質・性能仕様データ37や施工条件データ38等のデータが、プラントカルテ11の作成・保守を行うカルテ用データ処理装置44の端末41から入力される。検査時に入力するデータは、例えば、材料の成分元素等の数値化できるものは数値で、材料名のように定量化できない属性等はコード化しておく。例えば、溶接の入熱条件などの施工条件38のデータも設定されたコードにならって入力される。

【手続補正6】

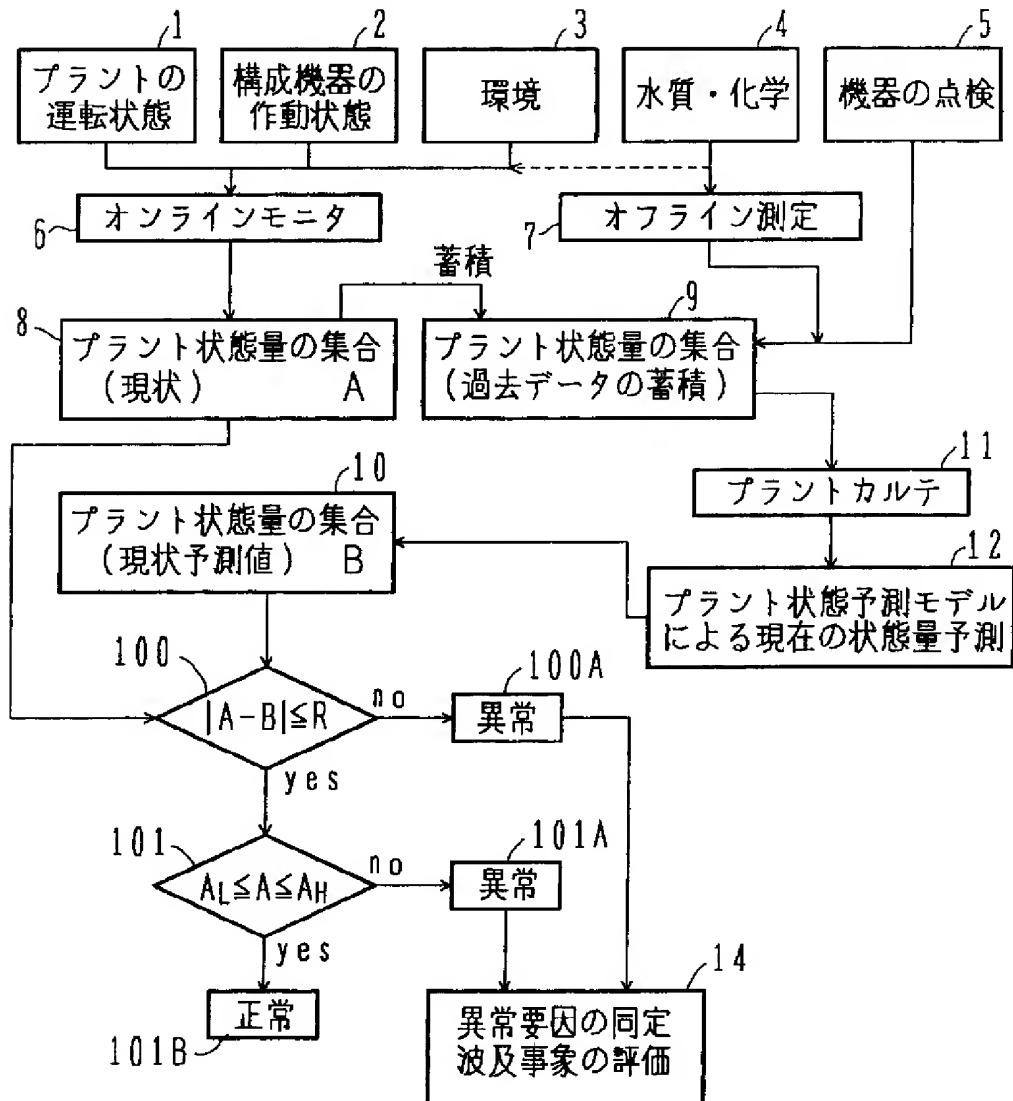
【補正対象書類名】図面

【補正対象項目名】図1

【補正方法】変更

【補正内容】

【図1】



フロントページの続き

(72)発明者 福崎 孝治
茨城県日立市大みか町七丁目2番1号 株
式会社日立製作所エネルギー研究所内

(72)発明者 山田 泉
茨城県日立市大みか町七丁目2番1号 株
式会社日立製作所エネルギー研究所内

PAT-NO: JP406331507A
DOCUMENT-IDENTIFIER: JP 06331507 A
TITLE: SUPERVISORY DIAGNOSTIC
METHOD AND SYSTEM FOR PLANT
AND PLANT EQUIPPED THEREWITH
PUBN-DATE: December 2, 1994

INVENTOR-INFORMATION:

NAME	COUNTRY
UCHIDA, SHUNSUKE	
FUJIMORI, HARUO	
TAKAHASHI, FUMINOBU	
FUKUZAKI, KOJI	
YAMADA, IZUMI	

ASSIGNEE-INFORMATION:

NAME	COUNTRY
HITACHI LTD	N/A

APPL-NO: JP05119887
APPL-DATE: May 21, 1993

INT-CL (IPC): G01M019/00 , G01D021/00 ,
G05B023/02 , G21C017/00

ABSTRACT:

PURPOSE: To realize supervisory diagnostic method and system for plant in which high

reliability is achieved while simplifying the periodic inspection by analyzing and diagnosing the abnormality accurately while taking account of the history of the plant related to the manufacture, inspection, repair, operation, etc., thereof.

CONSTITUTION: An operational state 1, a working state 2, and an environment 3 are accumulated through a monitor 6 and collected as a set 8 of plant state amount whereas water quality/chemical information 4 is accumulated as a set 9 of plant state amount 9. The state amount set 8 is updated and past data is accumulated as a state amount set 9. The data 5 at the time of periodic inspection and the water quality/chemical information 4 are also accumulated as a set 9. The set 9 is stored while being contracted as a plant chart 11. State amount prediction 12 is conducted while taking account of the properties inherent to the plant. Data of the sets 8, 10 are then compared by comparing means 100, 101 and when they match substantially, the plant is normal otherwise abnormal. In case of abnormality, abnormal machine and factor are identified.

COPYRIGHT: (C)1994,JPO